

# 特高压直流输电工程远动通信系统的设计与实现

靳玮玮, 张子彪, 饶国辉

(许继电气直流输电系统部, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 介绍了特高压直流输电工程在我国的发展现状, 结合实际分析了特高压直流输电工程远动通信系统的总体结构, 完成了远动通信系统的功能设计及软件实现, 利用 101/104 模拟主站对该远动通信系统的功能和性能进行了测试, 并对通信报文进行了分析, 得出通信报文完全符合 DL/T 634.5101-2002 / DL/T 634.5104-2002 规约定义的报文结构, 验证了该远动通信系统能够很好地满足特高压直流输电工程的需要, 对特高压直流输电工程远动通信系统的研究具有指导意义。

**关键词:** 特高压直流输电; 远动通信系统; DL/T 634.5101-2002; DL/T 634.5104-2002; 模拟主站

## Design and implementation of UHVDC remote control interface

JIN Wei-wei, ZHANG Zi-biao, RAO Guo-hui

(HVDC Electric Power Transmission Department of XJ, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** The development status quo of UHVDC (ultra high voltage direct current) power transmission project is introduced, the overall structure of RCI (remote control interface) is analyzed, the function design and the software realization are carried out, the functions and performance of the RCI are tested by using 101/104 simulator station, the communication messages are analyzed, the conclusion is deduced that the communication message is accorded with the message defined in DL/T 634.5101-2002 / DL/T 634.5104-2002, the RCI could meet the requirement of the UHVDC power transmission project is approved, and there is guiding significance on the research of RCI of UHVDC power transmission project.

**Key words:** UHVDC; remote control interface; DL/T 634.5101-2002; DL/T 634.5104-2002; simulator station

中图分类号: TM723 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)24-0062-06

## 0 引言

±800 kV 特高压直流输电具有远距离、大容量、低损耗的优势, 是实现我国能源资源优化配置的有效途径, 能够取得良好的社会经济综合效益。我国“十一五”云南—广东±800 kV 特高压直流输电工程已于 2006 年 12 月开工建设, 是全球首条特高压直流输电工程。对于±800 kV 特高压直流输电工程, 目前在世界上还没有成熟的技术可供参考, 在中国乃至世界上仍是一个具有相当多技术难点的工程项目<sup>[1]</sup>。特高压直流输电工程对控制保护系统的整体设计提出了更高的要求。远动通信系统作为特高压直流输电工程控制保护系统的重要组成部分, 也需要进行全面的分析和研究。本文结合实际给出了特高压直流输电工程远动通信系统的设计与实现方案, 通过模拟主站测试验证了系统设计的正

确性。

## 1 远动通信系统结构设计

远动通信系统在换流站特高压直流输电控制保护系统和远方调度中心之间完成数据交换。该系统需要向远方调度中心发送换流站的运行状态信息, 包括状态数据、测量值和 SER (事件顺序记录) 等, 同时还承担着将远方调度中心的操作指令传送到控制系统 (极控和站控) 的任务。该系统对本地和远方收到的数据预先进行处理, 提供内部和外部通信协议之间的转换和数据描述。该远动通信系统总体结构如图 1 所示。

### 1.1 数据链路

换流站和调度中心之间的通信采用两种传输方式, 包括高速以太网传输和点对点串行传输方式, 其主通信方式为网络通信, 换流站和调度中心之间的网络连接使用电力数据网。

远动通信系统与控制系统之间通信采用一个特

殊的基于 OSI 的 LAN 协议, 这个协议支持经过换流站 LAN 的冗余控制系统。

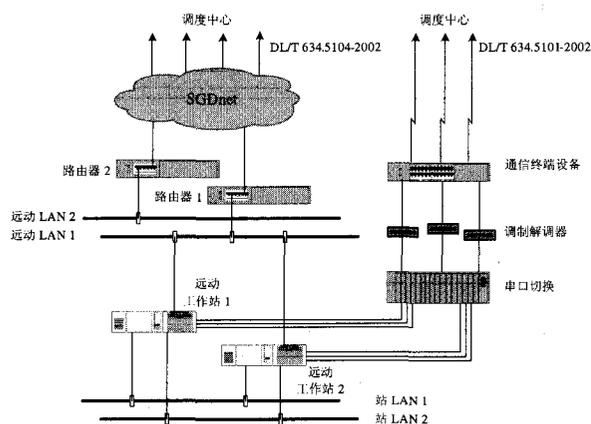


图 1 远动通信系统总体结构

Fig.1 General structure of RCI

## 1.2 冗余配置

为了满足电力系统高可靠性的要求, 本文设计实现的特高压直流输电远动通信系统采用冗余配置, 互为热备用。当主系统出现故障时, 备用系统自动切换。

站 LAN 也为冗余配置, 一个传送正常通信数据, 另一个传送测试数据, 测试数据主要用来监视网络的状态。传送正常通信数据的是主通道, 传送测试数据的是备用通道。当主通道网络出现问题时, 备用通道网络开始传送正常数据。

## 2 远动通信系统功能设计

### 2.1 与控制系统通信

#### (1) 连接的建立

当系统启动时, 所有经过换流站 LAN 与该远动通信系统进行通信的系统开始建立连接, 当 LAN 网上的通信建立时, 所有的循环发送信息都是静态的, 而且远动通信系统一直是作为服务器方等待连接。

#### (2) 监视方向

监视方向数据包含状态数据、测量值和 SER。

状态数据和测量值作为一个消息从控制系统向远动通信系统循环发送, 远动通信系统将这些数据存入内存, 直到被下次信息更新。SER 附加在 LAN 信息上, 每个 SER 点有一个唯一的编号和一个时间标志, 时间标志的精度是毫秒。当有一个状态发生变化或有告警产生时, 会附带传送 SER 数据。

远动通信系统从控制系统接收到的所有数据不包含通讯信息。但是远动通信系统对控制系统的连

接状态分别进行循环检测。当远动通信系统在一定时间内 (两个 LAN 网已经中断) 从某一个控制系统没有收到数据, 那么远动系统将所有内存中的相关数据标注为“非实时数据”。因此, 在错误存在时所有的数据点都被标注为“非实时数据”。如果错误消失, “非实时数据”的标示消失。所有的数据点重新传送。

#### (3) 控制方向

控制方向数据包含二进制命令和定值设定等。

控制命令下发时, 首先发送命令请求, 命令请求发送时系统会有一个发送标志, 当收到肯定确认后, 命令在下次发送。当远动通信系统收到确认后, 请求标志被清除, 当 5 s 之内没有收到确认, 命令将被清除。当命令下发前将检查控制位置 (就地/远方)、控制模式 (站控级/主系统级/从系统级) 和使能位 (控制系统带来的连锁功能), 当所有的检查都通过时, 命令才会下发。当条件不满足时, 控制中心会收到一个否定回答。

定值下发和二进制命令下发相似。下发定值的信息点会被新的值取代, 其他的则不会变化。当设置参考值命令下发前, 将检查控制位置和控制模式。

### 2.2 与调度中心通信

#### 2.2.1 网络连接

该远动通信系统通过网络方式与调度中心通信时, 采用国际标准协议 DL/T 634.5104-2002, 它是一个由连接导向的协议, 采用 DL/T 634.5104-2002 的应用层和 TCP/IP 提供的传输功能。

#### (1) 连接建立

每个远动通信系统和网关都有一个单独的 IP 地址。网关计算机作为调度中心的主站, 负责与远动通信系统 A 或者 B 建立连接。

调度中心的当前通道首先与一个远动系统相连接, 如果失败了, 就与另一个相连接。在同一时间不能有超过一个的连接。然而, 作为控制中心的任务, 就是与相连接的远动通信系统建立一个连接。

#### (2) 协议结构

DL/T 634.5104-2002 协议结构如表 1 所示, TCP/IP 的本地路由通信在 10 Mbit/s / 100 Mbit/s 速度, RFC894 用于第 2 层, IEEE802.3 用于第 1 层。

第 5 层和第 6 层没有使用。

#### 2.2.2 串行连接

远动通信系统通过串行方式与调度中心通信时, 使用的标准是 DL/T 634.5101-2002, 该标准描述了异步通讯比特串行数据传输协议。在每个连接上都有一个循环线路连接用于传送串行点对点远程

控制链路。

表 1 DL/T 634.5104-2002 协议结构

Tab.1 Protocol structure of DL/T 634.5104-2002

用户进程	根据 DL/T 634.5104-2002 从 IEC 60870-5-5 中选取应用功能	初始化
应用层 (第 7 层)	从 DL/T 634.5101-2002 和 DL/T 634.5104-2002 中选取 ASDU APCI (应用规约控制信息) 传输接口 (用户到 TCP 的接口)	
传输层 (第 4 层)	RFC 793 (传输控制协议)	
网络层 (第 3 层)	RFC 791 (互联网协议)	
数据链路层 (第 2 层)	RFC 894 (在以太网上传输 IP 数据报)	
物理层 (第 1 层)	IEEE 802.3 (10 Mbit/s) or IEEE 802.3u (100 Mbit/s)	

### 2.2.3 特高压直流输电数据类型与 ASDU 类型映射表

特高压直流输电控制保护系统的监控数据类型和 ASDU 类型一一对应, 传输模式和召唤范围如表 2 所示。

表 2 ASDU 类型映射表

Tab.2 Map of ASDU type

信息类型	ASDU 类型	传送模式	搜寻范围
单点信息	1	自发	全局
带三字节时标的单点信息	2	自发	全局
双点信息	3	自发	全局
测量值, 归一化值	9	自发	全局
带七字节时标的双点信息	31	自发	全局
单点命令	45	自发	-
双点命令	46	自发	-
设定值命令, 归一化值	48	自发	-
设定值命令, 短浮点数	50	自发	-

## 3 基于 ICE 的系统功能实现

### 3.1 基于 ICE 中间件的分布式软件实现过程

系统实现引入面向对象的 ICE (Interact Communication Engine) 中间件, 简化了跨平台大型分布式应用系统的开发过程, 本系统开发的系统软件结构如图 2 所示。

软件实现的各功能模块概述如下:

(1) RCI Server 远动服务程序的主体部分。

(2) FE module 前置模块, 通过冗余的 STATION LAN 网与控制系统交换数据; 同时向 RCI Server 提供 ICE 服务, 供 RCI Server 读取或下传数据, ICE Servant ②实现的就是这样的功能。

(3) ICE Servant ①远动服务程序中为伴机提供服务接口, 以实现双机同步和切换; 为界面提供服务接口, 以实现配置、调试和监视的功能。

(4) IEC104 Server, IEC 60870-5-104 规约

服务程序。

(5) IEC101 Server, IEC 60870-5-101 规约服务程序。

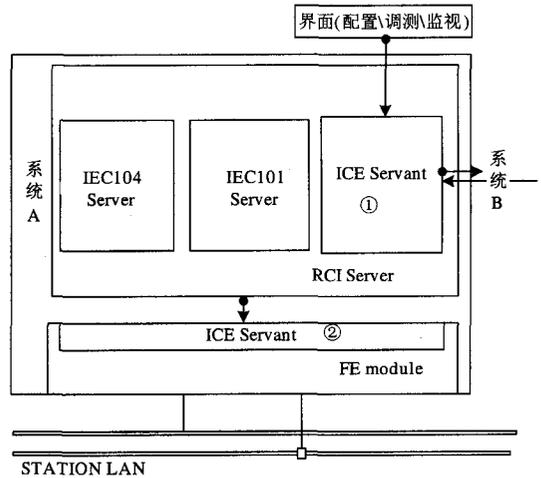


图 2 远动通信系统软件结构

Fig.2 Software structure of RCI

该远动通信系统为冗余系统, 包含系统 A 和系统 B 两个服务器, 每个服务器都有一个 servant, 但两个 servant 体现的是同一个 ICE 对象。当客户调用这样的 ICE 对象上的操作时, 客户端 run time 只把请求发给一个服务器。也就是说, 使用体现同一个 ICE 对象的两个 servant, 我们构建了一个冗余的系统: 客户端 run time 试着把请求发给一个服务器, 如果失败, 就把请求发给第二个服务器。只有在第二次尝试也失败的情况下, 错误才会报告给客户端应用代码。

### 3.2 服务程序启动

本系统可在 Unix 和 Windows 系统下运行, 运行前需要对系统参数、通道、规约和数据点信息进行配置, 配置界面和系统运行界面分别如图 3 和 4 所示。

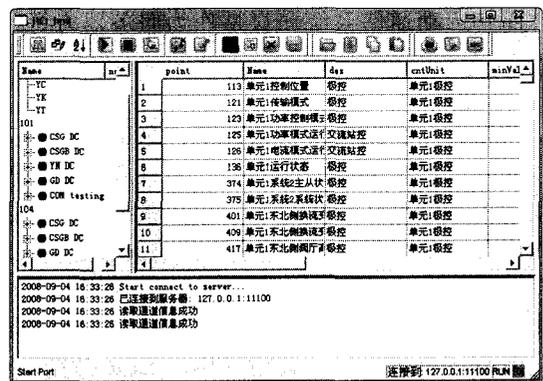


图 3 远动服务程序配置界面

Fig.3 Configuration interface of RCI server

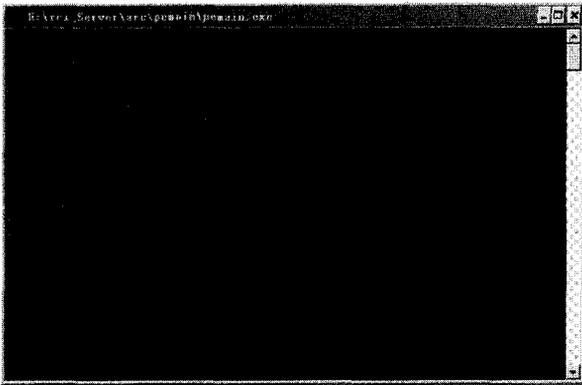


图 4 远动服务程序运行界面

Fig.4 Running interface of RCI server

远动通信系统作为从站处于热备用运行状态。测试终端作为主站, 连接到远动通信系统进行测试, 101 模拟主站采用点对点串行传输方式, 使用串口线进行连接; 104 主站采用高速以太网传输方式, 使用网线进行连接。

主站和从站间的通信规约分别采用: DL/T 634.5 104-2002 和 DL/T 634.5 101-2002。

主站和从站间传输的数据信息主要包含以下几项:

- (1) 单点遥信和 SOE 事件;
- (2) 双点遥信和 SOE 事件;
- (3) 遥测变化;
- (4) 遥控命令;
- (5) 设点命令。

## 4 系统测试

### 4.1 功能测试

#### 4.1.1 测试方案

#### 4.1.2 测试结果

本测试采用 IEC101master 作为 101 模拟主站, 对通道/规约进行设置, 与服务程序正确建立连接, 测试结果如表 3 所示。

表 3 远动通信系统 101 规约测试结果

Tab.3 Testing results of 101 protocol

类型标识	信息体地址	界面当前值	主站报文解析数据	延迟时间 (单位: s)	测试结果 (√ ×)	
单点遥信 (1)	1	分	0	1.13	√	
		合	1	0.85	√	
	34	合	1	0.74	√	
		分	0	0.99	√	
	69	合	1	0.75	√	
		分	0	1.04	√	
双点遥信 (3)	513	合	2	1.93	√	
		分	1	1.48	√	
	530	合	2	1.39	√	
		分	1	0.78	√	
	遥测 (9)	16651	4	4	0.7	√
			32767	32767	1	√
-32768			-32768	0.98	√	
16581		-32768	-32768	1.23	√	
		32767	32767	1.25	√	
单点遥控 (45)	24615	1	1	1	√	
		0	0	0.86	√	
	24612	1	1	0.98	√	
		0	0	1.43	√	
双点遥控 (46)	24591	1	1	1	√	
	24615	0	0	0.8	√	
设点命令 (48)	25089	1234	1234	0.8	√	
		5678	5678	0.8	√	
		7890	7890	0.8	√	
	25125	32767	32767	0.87	√	

本测试采用 ASE2000 作为 104 模拟主站, 将远 动通信系统 IP 设置为连接的主机参数, 与服务程序

正确建立连接，104 规约测试结果如表 4 所示。

表 4 远动通信系统 104 规约测试结果

Tab.4 Testing results of 104 protocol

类型标识	信息体地址	界面当前值	主站报文解析数据	延迟时间 (单位: s)	测试结果 (√ ×)
单点遥信 (1)	1	分	0	0.86	√
		合	1	0.85	√
	34	合	1	0.74	√
		分	0	0.99	√
	69	分	0	1.04	√
		合	1	0.83	√
双点遥信 (3)	513	合	2	0.73	√
		分	1	0.73	√
	530	合	2	1.39	√
		分	1	0.78	√
遥测 (9)	16581	123	123	0.57	√
		4	4	0.7	√
		32767	32767	1	√
		-32768	-32768	0.98	√
	16707	-9	-9	1.08	√
		-2047	-2047	1.38	√
单点遥控 (45)	24615	合	1	1	√
	24612	合	1	0.84	√
双点遥控 (46)	24591	合	1	1	√
	24615	分	0	0.7	√
设点命令 (48)	25089	1234	1234	0.8	√
		5678	5678	0.8	√
		7890	7890	0.8	√
	25125	2047	2047	0.78	√
		-2047	-2047	0.63	√
		-32767	-32767	0.67	√

4.1.3 报文分析

整个测试过程中的通信报文都符合 DL/T 634.5101-2002 / DL/T 634.5104-2002 规约定义的报

文结构，仅以 104 遥信报文为例进行分析，分析结果如表 5 所示。

表 5 104 规约遥信报文分析记录

Tab.5 Analysis register of 104 binary states

点号	遥信变位	数据类型	Response 报文	SOE 报文	SOE 时间
1	分→合	单点遥信	680E22000000 010103000100 01000001	681524000000 1E0103000100 0100000189A72710010B07	11/01/07 16:39:42.889
	合→分	单点遥信	680E16000000 010103000100 01000000	681518000000 1E0103000100 0100000080B43110010B07	11/01/07 16:49:46.208
513	分→合	双点遥信	680E06010000 030103000100 01020002	681508010000 1F0103000100 0102000297AD2109020B07	11/02/07 09:33:44.439
	合→分	双点遥信	680E02010000 030103000100 01020001	681504010000 1F0103000100 0102000170352109020B07	11/02/07 09:33:13.680

Response 报文状态位 01 表示状态为合，SOE 七字节时标 89 A7 27 10 01 0B 07 分别对应 11/01/07

16:39:42.889 的毫秒,分,时,日,月,年。

## 4.2 精度测试

### 4.2.1 测试方案

使用标准源,把输出的电压和电流连接到极控系统对应的端子上,极控系统进行采集,然后把数

据通过远动通信系统上传至模拟主站,再对主站的数据进行精度测试。本次只对直流电压和直流电流进行精度测试。

### 4.2.2 测试结果

表 6 远动通信系统精度测试记录

Tab.6 Register of RCI precision

测点名称	输入电压	变比	输出标准值	输出实测值	偏差	误差率/(%)
直流电压	5.002 V	125 kV/5 V	125.05	125.05	0	0
	2.501 V	125 kV/5 V	62.525	62.52	-0.005	0.04
	7.502 V	125 kV/5 V	187.55	187.53	-0.02	0.16
直流电流	1.668 V	3000 A/1.667 V	3001.80	3008.2	6.4	2.1
	2.002 V	3000 A/1.667 V	3602.879	3611	8.121	2.7
	1.001 V	3000 A/1.667 V	1801.4	1804.3	2.9	0.96

## 5 结束语

本文结合实际分析了特高压直流输电工程远动通信系统的总体结构,设计实现了特高压直流输电工程远动通信系统,并通过了实验室系统功能测试,验证了该远动通信系统能够实现如下功能:

(1) 遥信变位,相应 SOE 事件,遥测量变化报文均能够正确上送至主站;

(2) 能够正确执行主站下发的设点命令;

(3) 精度测试满足相关要求;

(4) 不允许主站两台机器同时和子站建立连接,满足相关要求;

(5) 遥控命令,先执行选择命令,判断闭锁条件,返回成功后执行控制命令,完成遥控操作,否则遥控执行不成功。目前高岭子站该功能有待进一步完善;

(6) RCI 客户端既能够运行在 Windows 操作系统,又能够运行在 Unix 操作系统;

(7) CI 客户端能够正确显示各类信号量的状态信息及相关操作信息;

(8) RCI 客户端能够成功执行子站主备切换,正确显示主备机状态信息;

(9) 能够将子站收发报文记录到系统文件中。

该远动通信系统能够很好地满足特高压直流输电工程的需要,对特高压直流输电工程远动通信系统的研究具有指导意义。

## 参考文献

[1] 石岩,韩伟,张民,等.特高压直流输电工程控制保护系统的初步方案[J].电网技术,2007,31(2):11-15.  
SHI Yan, HAN Wei, ZHANG Min, et al. A Preliminary Scheme for Control and Protection System of UHVDC

Project [J]. Power System Technology, 2007, 31 (2): 11-15.

[2] 陶瑜,马为民,马玉龙,等.特高压直流输电系统的控制特性[J].电网技术,2006,30(22):1-4.

TAO Yu, MA Wei-min, MA Yu-long, et al. Control Characteristics of UHVDC Power Transmission System [J]. Power System Technology, 2006, 30 (22): 1-4.

[3] 苏宏田,齐旭,吴云.我国特高压直流输电市场需求研究[J].电网技术,2005,29(24):1-4.

SU Hong-tian, QI Xu, WU Yun. Study on Market Demand of UHVDC Power Transmission in China [J]. Power System Technology, 2005, 29 (24): 1-4.

[4] 袁清云.特高压直流输电技术现状及我国的应用前景[J].电网技术,2005,29(14):1-3.

YUAN Qing-yun. Present State and Application Prospect of Ultra HVDC Transmission in China [J]. Power System Technology, 2005, 29 (14): 1-3.

[5] 吴在军,胡敏强,杜炎森.变电站通信网络实时性能仿真分析[J].电力系统自动化,2005,29(8):45-49.

WU Zai-jun, HU Min-qiang, DU Yan-sen. Analysis of Realtime Performance of Communication Network in Substations [J]. Automation of Electric Power System, 2005, 29 (8): 45-49.

收稿日期:2008-11-03

作者简介:

靳玮玮(1981-),女,硕士,从事高压直流输电软件设计及系统调试工作; E-mail: ncepu\_jww@yahoo.com.cn

张子彪(1969-),男,硕士,工程师,从事高压直流输电软件设计及系统调试工作;

饶国辉(1975-),男,本科,从事高压直流输电软件设计及系统调试工作。